

**Kasuistischer Beitrag zum  
Unfallmechanismus  
des Schlüsselbeinbruches**

**Arno Chiger**

Druck: Anneliese Schubert, München 5, Corneliusstraße 21, Telefon 21777





AUS DER CHIRURGISCHEN POLIKLINIK DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Direktor: Professor Dr. H. BRONNER

---

KASUISTISCHER BEITRAG  
ZUM  
UNFALLMECHANISMUS DES SCHLÜSSELBEINBRUCHES



Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin  
verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät der  
Ludwig - Maximilians - Universität zu München

vorgelegt von  
Arno Chiger  
aus Siedlec

München 1959

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Referent: Professor Dr. V. STRUPPLER  
Korreferent: Professor Dr. H. BRONNER  
Dekan: Professor Dr. K. KOLLE

Tag der mündlichen Prüfung: 14. Mai 1959

## I. ENTWICKLUNGSGESCHICHTE DES SCHULTERGÜRTELS UND DES SCHLÜSSELBEINS.

Im Zusammenhang mit der Funktion der Extremitäten wechselt ihr Erscheinungsbild bei den einzelnen Tierarten in weiten Grenzen. Das gilt sowohl für die freie Extremität selbst, als auch für den Bereich des sie tragenden Schulter- und Beckengürtels. So finden sich innerhalb des Tierreiches sowohl exzessive Ausbildung einzelner Teile dieses Skelettsystems, als auch Reduktion derselben bis zum völligen Verschwinden, sowie Verwachsungen und Verschiebungen untereinander.

Das Schlüsselbein selbst gehört nicht zum primären Schultergürtel und hat seine Ausbildung erst nach vielfältiger Umbildung der ganzen Region erhalten.

Zur Fortbewegung sind niedere Tierarten allein auf den primären Bewegungsapparat angewiesen, der eine Einheit ist aus Teilen des Axialskeletts, der Rumpf- und Schwanzmuskulatur und des Nervensystems. Die Fortbewegung erfolgt im einfachsten Falle durch Schlängeln, das wechselweise Ablaufen von Kontraktionswellen in der Rumpfsseitenmuskulatur. Bei den geschwänzten Amphibien und bei den Reptilien spielt das Schlängeln des Körpers trotz der Beinbewegung noch eine wichtige Rolle. In manchen Fällen erlangt die Rumpfsseitenmuskulatur erneut Selbständigkeit, sodaß die paarigen Extremitäten verkümmern und Schlangengestalt entwickelt wird, wie bei den Blindschleichen und anderen Eidechsen, sowie bei den eigentlichen Schlangen.

Höher entwickelte Tiere besitzen im sekundären Bewegungsapparat eigene Organe: Beine, Flügel oder Flossen. Zu ihrer Verankerung dienen im Körper besondere Skelett-Teile: das Zonoskelett (Schulter- und Beckengürtel).

Bei den Fischen ist der Schultergürtel eine Skelettspange, die mit dem Kopf in fester Verbindung steht und die Kiemenregion nach hinten abschließt. Bei den Knochenfischen bildet sie den Abschluß der eigentlichen Kiemenhöhle. Zugleich ist der Schultergürtel aber auch der Träger des Brustflossenpaars.

Die Grundlage sind seitliche Knochenplatten, die in einem Knorpelstadium vorgebildet sind. Sie gliedern sich in einen dorsalen Scapularteil und einen ventralen Coracoidteil. Zu diesen Knorpelknochen tritt in einer weiteren Entwicklung ein neues Skelettelement hinzu: die Haut- oder Deckknochen. In der Haut bilden sich Knochenplatten, denen kein knorpeliges Stadium vorangeht und die sich von außen an die Knorpelknochen anlegen. Der größte ist das Cleithrum, nach ventral anschließend das Thorakale und dorsal als Verbindung zum Schädel noch kleinere Knochen.

Bei den ältesten uns bekannten Landtieren, den Stegocephaliern, die keine Kiemen mehr haben, entfällt dem Schultergürtel die Aufgabe, den Abschluß der Kiemenhöhle zu bilden. Er bleibt aber Träger der Brustflossen. Der Gürtel bleibt zwar nahe am Kopf, aber es fehlt die direkte Verbindung zum Schädel.

Die dorsale Hautknochenpartie, das Cleithrum, ist schwach ausgebildet, wogegen die ventrale Knochenanlage durch ein unpaares Verbindungsstück, das Interthorakale, verstärkt ist. Während als Ansatzstück für die Fischflossen ein flacher Gelenkhöcker dient, wird für das Vorbein der Tetrapoden eine Gelenkgrube gebildet, die stets auf der Grenze von Scapula und Coracoid liegt.

Bei den höheren Landformen nimmt dann der Schultergürtel sehr verschiedene Gestalt an. Die Loslösung vom Kopf hat sich noch verstärkt und der aus Hautknochen gebildete Anteil ist wieder reduziert. Das Cleithrum fehlt allen höheren Wirbeltieren, wogegen das Thorakale bei allen niederen Stufen noch stark ausgebildet ist. Während bei diesen das Coracoid die primäre Verbindung zum Rumpf bildet, ist es bei den Säugern mit Entwicklung einer größeren Bewegungsfreiheit nur noch als Fortsatz des Schulterblattes zu finden. Die alleinige Verbindung zur Brust übernimmt das Thorakale, ein Hautknochen, für den bei den Säugern die Bezeichnung Clavicula vorbehalten ist.

Aber auch bei den Säugern ist eine wechselnde Ausbildung der Clavicula gegeben. Bei mehr einseitiger Verwendung der Vordergliedmassen zu Stütze und Fortbewegung des Körpers, z.B. bei den Huftieren und vielen Raubtieren, geht diese Verbindung zur Brust verloren. Bei den Huftieren, die Schreiter sind, fehlt es ganz, während es bei fliegenden, kletternden und grabenden Säugern gut ausgebildet ist.

Bei den Vögeln verschmelzen die beiden Thorakale zur Furcula und erreichen mit dem Coracoid zusammen wie ein federndes Gestänge das Brustbein.

So hat sich nach dem wechselvollen Gang der historischen Entwicklung der Schultergürtel beim Menschen zu einem horizontalen Bogen um den oberen Umfang des Brustkorpes ausgebildet, der nur an einem Punkt, am inneren Schlüsselbeingelenk, gegen das Rumpfskelett beweglich abgestützt ist, während die übrigen Teile in Muskelschleifen schwebend aufgehängt sind.

Während die Beine vorwiegend Tragsäulen der auf einem starren Beckenring ruhenden Rumpflast sind, weshalb Bewegungen im Hüftgelenk des Spielbeins keine nennenswerte Vergrößerung erfahren, ist für die obere Gliedmasse, als Greiforgan, in Verbindung mit dem beweglichen Schultergürtel eine vielseitige Bewegungsfreiheit gegeben.

#### Lit.:

L.Bolk, E. Göppert, E. Kallius, W. Lubosch: Handbuch der vergleichenden Anatomie der Wirbeltiere  
Urban und Schwarzenberg 1939

A. Portmann: Einführung in die vergleichende Morphologie der Wirbeltiere

Benno Schwabe & Co, Basel 1948

## II. ANATOMIE UND FUNKTIONSMECHANISMEN IM ZUSAMMENHANG DES SCHULTERGÜRTELS.

Die S-förmige Krümmung des Schlüsselbeins ist für gewöhnlich in seiner ganzen Ausdehnung unter der Haut zu erkennen. Schwere Arbeit und kräftige Muskulatur geben seiner Krümmung und seinen Enden eine vermehrte Ausprägung, sodaß die beiden Enden stark hervortreten können. Schwache Muskeln und wenig entwickelter Brustkorb lassen es herabsinken und die Schulter vorfallen. Dabei vertiefen sich durch das Hervortreten des Schlüsselbeins die oberhalb und unterhalb gelegenen Gruben der Art, daß der Knochen dann ganz zu umfassen ist, während bei kräftiger Muskulatur und gutem Fettpolster nur die vordere obere Wölbung zu tasten ist. Den vorderen unteren Umfang nimmt der Ursprung des großen Brust- und Deltamuskels ein, nur unterbrochen durch die wechselnd weite Lücke zwischen diesen beiden Muskeln, das *Trigonum Deltoideo-Pectorale*.

Hier unterkreuzt die große Gefäß- und Nervenstraße vom seitlichen Halsdreieck kommend und über die 1. Rippe laufend das Schlüsselbein, das durch den *m. subclavius* und seine sehnige Fascienhülle unterpolstert ist. Trotzdem können die Gefäße und Nerven gegen die 1. Rippe gequetscht werden, während Knochensplinter und Kanten sich meist bei Brüchen im Polster des Muskels verfangen.

An beiden Enden des Schlüsselbeins sitzen wichtige Gelenke, die dem Schultergürtel gegenüber dem Brustkorb und in sich selbst Bewegungsmöglichkeit geben.

Durch das am sternalen Ende des Schlüsselbeins ausgebildete Sterno-clavicular-gelenk ist der Schultergürtel mit dem Brustkorb gelenkig verbunden, wobei das Schlüsselbein wie ein Ausleger des Schulterblattes wirkt, das in seiner eigenen Bewegungsfreiheit von der Beweglichkeit des Schlüsselbeins in diesem Gelenk weitgehend abhängig ist.

Das Acromio-clavicular-gelenk gibt darüber hinaus dem Schultergürtel in sich selbst Bewegungsfreiheit.

Das Schulterblatt aber ist Träger der Pfanne des Schultergelenks, des freiesten Kugelgelenks des ganzen Körpers, in dem der Arm wurzelt.

So bildet der Schultergürtel eine Gliederkette, die mittels ihres Kugelgelenksystems die freie Beweglichkeit des Arms und seinen Bewegungsraum um ein vielfaches vergrößert. In dieser Kette hat das Schlüsselbein eine funktionell wichtige Bedeutung. Mit ihren Muskeln greifen aber Schulterblatt und Schlüsselbein systematisch und funktionell weit auf Brust, Rücken, Hals und Arm über.

Das Sterno-clavicular-gelenk ist zwar anatomisch kein Kugelgelenk, besitzt aber wie dieses drei Grade der Bewegungsfreiheit. Es passen die Gelenkflächen nur schlecht aufeinander, doch besitzt das Gelenk eine 3 - 5 mm starke Zwischenscheibe, die es doppelkammerig gestaltet. Diese Zwischenscheibe leitet sich von einem 2. Hautknochen her, dem Episternum. Sie dient als Puffer für den weitergeleiteten Druck des Armansatzes und erhöht durch ihre Formbarkeit die Bewegungsmöglichkeit im Gelenk.

Die Kapsel ist dickwandig und derb, aber schlaff und noch durch Bänder hinten und vorne verstärkt, die extreme Vor- und Rückwärtsbewegungen des Schlüsselbeins hemmen. Eine übersteigerte Hebung wird durch die Bandverbindung zur 1. Rippe verhindert, während das Lig. interclaviculare die Senkung hemmen soll. Der Bewegungsraum des acromialen Endes des Schlüsselbeins ist durch einen Kegelmantel umschrieben von etwa 10 - 12 cm Durchmesser.

Die starke funktionelle Beanspruchung des Gelenks als Endglied in der Gliederkette des Schultergürtels und als Stützlager am Brustkorb ergibt sich außer aus der starken Sicherung seiner Funktion auch noch aus der Erscheinung der hier häufiger auftretenden Erkrankungen, wie Tuberkulose, Osteomyelitis und aseptische Nekrose, wie sie nur an leicht überbeanspruchten Skeletteilen vorkommen.

Die Funktion des Gelenks besteht vorwiegend im Heben, Vor- und Rückführen des Schlüsselbeins und nur zum geringen Teil im Senken.

Die Bewegungsmöglichkeit ist entsprechend der Kugelgelenksfunktion eine Kreiselung, hauptsächlich zur Bewegung des Schulterblattes auf der seitlichen und hinteren Brustwand.

Mit dem Schulterblatt ist das Schlüsselbein doppelt verbunden: durch das Acromio-clavicular-gelenk und durch das Lig. coracoclaviculare am Rabenschnabelfortsatz.

Auch das Schulterhöhengelenk besitzt wie ein Kugelgelenk drei Grade der Bewegungsfreiheit. Faserförmige Gelenkauflagen, die sich sogar zu einer Gelenkzwischenscheibe ausgestalten können, sichern die Gelenkfunktion. Die Kapsel ist schlaff und unten und oben durch Bänder verstärkt. Die Gelenkflächen sind entsprechend der Funktion des Gelenks leicht geneigt, sodaß das Schlüsselbein etwas über die Schulterhöhe herübergreift.

Da das Gelenk Mittelglied zwischen Schulterblatt und Schlüsselbein ist, können Verletzungen des Gelenks, der Gelenkenden oder des Zwischenknorpels schwere Störungen des Schulterbewegungsapparates hervorrufen mit Auswirkung auf den Bewegungsraum des Armes.

Diese Bewegungen im Acromio-clavicular-gelenk sind nach 3 Richtungen des Raumes möglich. Sie setzen sich zusammen:

1. aus Schwankungen des unteren Schulterblattwinkels, die besonders beim Erheben des Armes über die Horizontale Bedeutung gewinnen und so den Bewegungsraum im Schultergelenk bedeutend erweitern.
2. aus Flügelbewegungen des Schulterblattes, wodurch dieses jeweils erneut flächenhaft auf die Oberfläche des Brustkorbs eingestellt werden kann.

Isolierte Bewegungen in einem der beiden Schlüsselbeingelenke sind selten. Jede Haltungsänderung des Schulterblattes bedingt meist eine Stellungsänderung in beiden Gelenken und setzt eine zusammengesetzte Bewegung voraus:

Heben und Senken der Schulter, wobei das Schulterblatt parallel zur Wirbelsäule nach oben oder unten verschoben wird,  
Vor- und Zurücknehmen der Schulter, wobei das Schulterblatt auf der Brustwand nach vorne und hinten gleitet.

So bindet das Schlüsselbein, seiner Funktion nach ein beweglich fixierter Ausleger des Schulterblattes, dieses an seine kugelige Gleitbahn auf der Brustwand.

Die bewegenden Kräfte setzen aber mit Ausnahme des *m. subclavius* nicht unmittelbar am Schlüsselbein an. Die am Schlüsselbein selbst ansetzenden Muskeln haben für die normale Schlüsselbein-Bewegung keine Bedeutung. Sie gewinnen sie erst, wenn die Gliederkette des Schultergürtels unterbrochen ist, wie bei der Fraktur des Schlüsselbeins, wobei sie dann die Stellung der Bruchstücke des Knochens bestimmen.

Die hauptsächlichsten Bewegungskräfte des Schlüsselbeins lassen sich in 3 Muskelschlingen zusammenfassen.

I. Horizontale Schlinge:

- a. *pars divergens m. serrati anterioris*: Vorwärtsführen
- b. *pars transversa m. trapezii*: Rückwärtsführen

II. erste verticale Schlinge:

- a. *pars descendens m. trapezii*: Rückwärtsheben
- b. *m. pectoralis minor*: Vorwärtssenken

III. zweite verticale Schlinge:

- a. *m. levator scapulae*: Heben
- b. *pars ascendens m. trapezii*: Senken.

Für die Bewegung des Schulterblattwinkels kommt hinzu als 4. Schlinge:

*mm. rhomboidei*

*pars convergens m. serrati anterioris*.

Das Zusammenwirken der Schultergürtelmuskulatur ist aber selbst bei einfachen Bewegungen des Schulterblatt-Schlüsselbeinsystems sehr ineinandergreifend und im einzelnen von den verschiedensten Muskeln in sehr mannigfaltiger Weise bestimmt. Ebenso hat bei dem Zusammenspiel von Schultergürtel und Schultergelenk jedes einzelne Glied in der Gelenkkette an der Gesamtfunktion Anteil, was für den Unfallmechanismus von Bedeutung ist. Schließlich kann die freie Beweglichkeit des Arms, die durch die Beweglichkeit des Schultergürtels

in ihrem Bewegungsumfang beträchtlich gesteigert ist, durch die Mitbeteiligung des Rumpfes noch erheblich vergrößert werden. Andererseits ist bei gestörten Gelenkverhältnissen durch die Mitbeteiligung des Rumpfes eine Korrektur des Bewegungsumfanges möglich.

Lit. :

H.K.Corning: Lehrbuch der topographischen Anatomie  
23. Auflage. Springer Verlag 1946

T.v.Lanz, W.Wachsmuth: Praktische Anatomie  
Berlin, Springer Verlag 1935

### III. DER SCHLÜSSELBEINBRUCH UND SEIN UNFALLMECHANISMUS.

Der Bedeutung der Funktion der oberen Extremität entspricht auf der anderen Seite ihre erhöhte Unfallgefährdung, die nach der Statistik mehr als die Hälfte aller Frakturen insgesamt ausmacht. Die Funktionseinheit von Arm und Schultergürtel und die besonders exponierte anatomische und funktionelle Stellung des Schlüsselbeins in diesem geschlossenen System bedingen auch gerade für diesen Teil eine besonders gesteigerte Verletzungsmöglichkeit. So machen die Schlüsselbeinbrüche 10 - 15% aller Frakturen aus und stehen nach den Vorderarmbrüchen an 2. Stelle. Nach LINSERMANN sind sie im acromialen Drittel zu 55%, im mittleren Drittel zu 41,5% und im sternalen Drittel zu 3% lokalisiert.

Man kennt mehrere Bruchentstehungsarten:

1. durch unmittelbar auf den Knochen auftreffende Gewalt, die ihn an der Stelle des Auftreffens zerbricht oder zertrümmert, z.B. Schußbruch. Das kann an jeder Stelle des Knochens möglich sein, wird aber bei Unfällen besonders im mittleren oder lateralen Drittel entsprechend der anatomischen Gegebenheit beobachtet.

2. durch eine mittelbar auf das Schlüsselbein fortgeleitete Gewalt-  
einwirkung, die selbst aber das geschlossene Funktionssystem Arm-  
Schultergürtel an einer anderen Stelle trifft. So kann der Sturz auf  
den ausgestreckten Arm oder die Schulter zum Bruch des Schlüssel-  
beins führen. Das hat aber zur Voraussetzung, daß die durch ihre  
Gelenkverbindung an sich bewegliche Gliederkette: Arm-Schultergür-  
tel bis zu ihrem Endglied, dem Schlüsselbein, zu einem starren Sy-  
stem wird, was meist durch reflektorische Feststellung der zwischen-  
geschalteten Gelenke zustande kommt. Dabei wird es zu einem Bruch  
an der schwächsten Stelle der jetzt starren Knochenreihe kommen,  
wenn nicht bei diesem vielgestaltigen Kräftespiel vorher ein Gelenk  
aus seiner ineinandergreifenden Verbindung gehebelt wird, wobei es  
dann zur Luxation käme. Der Bruch ist dann Folge einer Überbean-  
spruchung des Knochens in Form von Längskompression mit Biegung.  
Dabei hält das Widerlager im Sterno-clavicular-gelenk stand und der  
Knochen bricht an seiner schwächsten Stelle, die auch ungefähr mit  
dem Orte seiner stärksten Biegungsbeanspruchung übereinstimmt. Die  
Bruchlinie verläuft mehr oder weniger schräg oder auch quer durch  
den Knochen, wobei es auch zur Aussprengung eines typischen Bie-  
gungsdreieckes kommen kann. Dabei spielen neben der Stärke des  
Biegungsdrucks auch Konstitution und Aufbau des Knochens eine Rolle.  
Da der Schaft des Schlüsselbeins schon in der 5. - 7. Fetalwoche  
verknöchert, ist er auch frühzeitig "bruchreif". So werden die Hälfte  
aller Schlüsselbeinbrüche bei Kindern unter 5 Jahren beobachtet, wo-  
bei es oft zu "Grünholzfrakturen" kommt. Auch diese Infraktionen  
und subperiostalen Brüche treten an der Stelle maximaler physiologi-  
scher Biegung im Übergangsgebiet des mittleren und lateralen Drittels  
auf, das selbst mit seinem Ansatz von m.deltoideus und trapezius to-  
pographisch schon der Schulter angehört.

3. Auch die Hypomochlionfraktur über der 1. Rippe ist ein Biegungs-  
bruch, wobei der Knochen unter so gewaltigen Druck gesetzt wird,  
daß er über der 1. Rippe abbricht, z.B. beim Stoß von vorne oben  
außen nach hinten unten innen oder beim Heben schwerer Lasten bei  
weit zurückgenommener Schulter. Es handelt sich um Abbiegungsbrü-  
che, wobei das mediale Fragment fixiert ist, während das laterale  
Fragment unter Drehung abbricht, wodurch es zu einem Schrägbruch

kommt. Diese Brüche finden sich an der Grenze zwischen dem unterstützten inneren und freien mittleren Drittel.

4. Reine Muskelzugfrakturen sind am Schlüsselbein selten. Sie entstehen durch unzweckmäßig dosierte und unkoordinierte Muskelaktion bei Hebe- und Schleuderbewegung des Armes. Sie sitzen in der Nähe des m. sternocleidomastoideus-Ansatzes und sind durch die gegensätzliche Wirkung von m. sternocleidomastoideus und pectoralis maj. mit deltoideus bedingt.

Es kann aber auch zu einer Kombinationsform von "umgekehrter" Hypomochlion- und Muskelzugfraktur kommen, wie eine eigene Beobachtung zeigen soll. Dabei ist aber nach der Art der Belastung, die zur Fraktur führte, zu erwägen, ob nicht in diesem Falle schon eine schleichende Fraktur vorgelegen hat, worauf in Folgendem eingegangen wird.

Entwicklungsgeschichtlich hat sich der Knochen aus dem weicheren Material des Knorpels und des Bindegewebes entwickelt. Und wenn er auch innerhalb des gesamten Organismus zunächst nur eine mechanische Funktion zu haben scheint, so ist er doch in seinem Auf- und Umbau von den vielfältigen Steuerungseinrichtungen des Gesamtorganismus abhängig.

Aus seiner Funktion heraus besteht der makroskopische Aufbau des Knochens aus der annähernd gleichmäßigen Kompakta und der Spongiosastruktur, die so angeordnet ist, daß sie mit den Trajektorien der Belastung zusammenfällt. Hierdurch ist nach BRAUS eine Konstruktion gegeben, die bei einem Minimum an Aufwand ein Maximum an Leistung gewährleistet und dem Knochen sowohl Festigkeit, als auch Elastizität gibt. Wird aber durch ein Trauma die Gesamtelastizität des Knochens überschritten, so kommt es zur teilweisen oder vollständigen Durchtrennung der Knochenstruktur, zur Fraktur, Infraktion oder Fissur. Die Lokalisation ist von der örtlichen oder fortgeleiteten Einwirkung des Traumas abhängig. Bei verminderter Widerstandskraft des Knochens, wie sie z.B. bei Tumormetastasen gegeben ist, können sogar physiologische Beanspruchungen zur Überbelastung und zur Spontanfraktur führen.

Darüber hinaus beobachtete man aber auch Spontanfrakturen, ohne daß eine grobe Zerstörung der Knochenresistenz vorlag. LOOSER sah bei rachitischen und osteomalacischen Knochen jugendlicher Patienten bandförmige Aufhellungen, die sich histologisch als Umbauzonen erwiesen.

Während sich normalerweise Knochenanbau und lakunäre Resorption die Waage halten, kommt es an stark beanspruchten Biegestellen durch die gezielte Tätigkeit der lebenden Knochenzellen zu einem Umbau des Knochens. Einerseits setzt unter dem funktionellen Reiz der mechanischen Irritation eine örtlich vermehrte lakunäre Resorption ein, wodurch der lamellöse Knochen zum Schwinden gebracht wird, andererseits wird durch den gleichen mechanischen Reiz die Bildung geflechtartigen Knochens angeregt. Es wird also die lamellöse Knochenart, die gegen mechanische Insulte verhältnismäßig empfindlich ist, durch die geflechtartige ersetzt. Diese Umbauzone ähnelt in ihrem Aufbau der Callusbildung. Ist aber die Kalkablagerung verzögert, so kommt es röntgenologisch zu Aufhellungszonen, wie sie LOOSER zunächst bei seinen Untersuchungen am kranken und veränderten Knochen Jugendlicher mit Rachitis, Osteomalacie, Osteogenesis imperfecta und Hungerosteopathie fand. Diese Looserschen Umbauzonen wurden dann später bei all den Erkrankungen gefunden, die das ganze Knochensystem in Mitleidenschaft ziehen und bei denen neben mechanisch-statisch-dynamischen Faktoren insbesondere Störungen des Vitamin-, Hormon- und Mineralstoffwechsels eine Rolle spielen. Es finden sich auch hier diese Umbauzonen an besonders belasteten Stellen, aber ihr Zustandekommen ist weitgehend an die allgemeine Knochenerkrankung gebunden und da die Belastungen meist beidseitig bestehen, kommt es häufig zu Spontanfrakturen an korrespondierenden Stellen. Doch sind diese Frakturen primär keine echten Frakturen, sondern treten im Gefolge der Stoffwechselstörung erst sekundär auf.

Dagegen wurden Spontanfrakturen am offenbar gesunden Knochen beobachtet, bei denen sich das Trauma aus vielen, in einer bestimmten Gleichförmigkeit ständig wiederholten Einzelbelastungen zusammensetzte. Jede einzelne Belastung für sich genommen liegt im Bereich des Physiologischen. Ihre Summation aber zwingt dem Stützsystem Leistungen auf, die es auf die Dauer überbeanspruchen. Oft läßt

sich der Beginn des Leidens nicht genau angeben und der Patient wird durch die zunehmenden Beschwerden erst spät zum Arzt geführt oder es tritt nach vorangehenden unklaren Beschwerden plötzlich eine Fraktur des überbeanspruchten Knochens auf. Es handelt sich dann meist um eine schleichende Spontanfraktur, wie sie bei der Schipperkrankheit, der Marschfraktur, der Fraktur der Schambein-äste, des Os naviculare manus, des Calcaneus und bei den Ermüdungsbrüchen der Rippen gegeben ist. Es handelt sich dabei um funktionelle Überbelastung des funktionell nicht angepaßten Knochens. Dabei gehen der Fraktur degenerative Prozesse im Knochen voraus, die durch die übermäßige und vor allem gleichmäßige Beanspruchung mit dauernder abwechselnder Be- und Entlastung bedingt sind.

Um diese degenerativen Prozesse im Knochen zu klären, führte HENTSCHEN röntgen-spektralanalytische Untersuchungen über den submikroskopischen Feinbau des Knochens durch. Dabei fand er, daß im Knochen die anorganischen Salze gerichtet sind und bei der Knochenentstehung sich auch eine gerichtete Gerinnung der Parakristalle und Gelee vollzieht. Die kollagenen Fasern aber sind normalerweise ungerichtet, gelangen aber bei Beanspruchung des Knochens in gerichtete Orientierung, wodurch eine Vergütung des Knochenmaterials gegeben ist. Bei weiterer Beanspruchung verschieben sich die anorganischen Kristalle in verschiedenen Gleitebenen und es kommt zu Gleitdeformationen, die gegeneinander abgeriegelt sein können, wodurch der Knochen eine weitere Festigung erfährt. Werden nun bei immer wiederholter, hoch dosierter, gleichförmiger Überbeanspruchung diese geschichteten Kristallgebiete systematisch aufgelockert, ohne daß ihnen Zeit zu einer Resynthese bleibt, so kommt es zu einem langsamen inneren Einreißen im Verlauf der am stärksten aufgelockerten Gleitlinienzonen. HENTSCHEN nannte diesen schleichenden Dauerbruch durch Materialzerrüttung Materialerschöpfungsbruch.

KÜNTSCHER untersuchte die Zug- und Bruchlinien am menschlichen Knochen nach rein technischen Verfahren und konnte dabei eine weitgehende Übereinstimmung zwischen Erschöpfungsbruch am toten Material und menschlichem Knochen nachweisen. Es ließ sich am Knochen zeigen, daß die Sammelpunkte zahlreicher Belastungstrajektorien die sogenannten gefährlichen Querschnitte bilden, Spannungsspit-

zen, die ihrer erhöhten Beanspruchung entsprechend einen beschleunigten Knochenumbau aufweisen. Er konnte ferner nachweisen, daß eine weitgehende Übereinstimmung zwischen den Stellen der Entstehung von Umbauzonen bzw. Ermüdungsbrüchen und Spannungsspitzen besteht. Auch nach seinen Untersuchungen führen Belastungsreize zur Verstärkung, Inaktivität und das normale Altern zur Atrophie der Knochenstruktur. Durch über längere Zeit anhaltende örtliche Belastungen wird der Knochen, wie es LOOSER zeigte, umgebaut. Nimmt aber die dauernde Belastung ein pathologisches Maß an, so überwiegt allmählich der Appositionsbedarf den physiologisch möglichen Anbau, d.h. das Umbaugleichgewicht wird zugunsten eines vorherrschenden Abbaus und einer lokalen Osteoporose verschoben. Die in diesem Bereich verminderte Elastizität ist dann häufig die Ursache einer schleichenden Spontanfraktur.

ASAL hebt besonders den Muskelzug und dessen Hebelwirkung hervor, wobei dann immer an der Drehachse des zweiarmigen Hebels eine schleichende Spontanfraktur entsteht.

Eben diese Situation scheint bei unserer 1. Beobachtung gegeben zu sein.

#### IV. EIGENE BEOBACHTUNGEN.

Es handelt sich im 1. Falle um einen 30-jährigen gesunden und kräftigen Mann, der in einem Speditionsbetrieb seit etwa 10 Jahren als Kraftfahrer tätig ist und beim Verladen des Speditionsgutes immer schwer gehoben hat, was bei der Frage der Vorschädigung des frakturierten Knochens eine Rolle spielt.

Es galt, eine schwere Maschine zu verschieben, wozu von dem Patienten eine Hebestange benutzt wurde, die er auf der linken Schulter aufliegen ließ, um mit der ganzen Kraft des Rumpfes heben zu können. Dabei stützte er mit beiden im Ellbogen gebeugten Armen

die Stange ab. Auf der Höhe der Kraftanspannung erhob er sich bis auf die Zehenspitzen und hielt so einen Augenblick inne. Dabei verspürte er plötzlich ein Knacken und einen Schmerz im linken Schlüsselbein.

Der untersuchende Arzt fand die linke Schulter etwas hängend, nicht deformiert, aber die Supraclaviculargrube verstrichen. Die Beweglichkeit des Armes und des Schultergürtels war nicht eingeschränkt, doch bestand deutlicher Druckschmerz am Übergang vom medialen zum lateralen Drittel und Stauchungsschmerz an der linken Schulter zum Brustbein hin.

Röntgenologisch ergab sich auf dem Übersichtsbild und bei den Schichtaufnahmen eine Frakturierung des Schlüsselbeins im lateralen Drittel, wobei es zu einer im Schaft längs verlaufenden Fissur und anscheinend auch zu einer Infraktion von caudo-lateral her kam.



Bei der Aufklärung des Bruchmechanismus sind 2 Komponenten zu beachten:

1. Der Gegendruck der gehobenen Last wirkte unvermindert auf das Schlüsselbein ein und zwar an seiner physiologisch schwächsten Stelle am Übergang vom medialen zum lateralen Drittel. Dabei ist zu fragen, ob nicht hier durch die dauernde, auch wechselnde Überbelastung des Schlüsselbeins, wie sie beim Anheben und Tragen schwerer Lasten nach caudal einerseits und beim Abstützen mit einer Hebestange nach cranial andererseits gegeben ist, eine Materialzerrüttung des Knochens im Sinne von HENTSCHEM und KÜNTSCHER vorgelegen hat. Eine Umbauzone im Sinne LOOSERs ist auf den vorliegenden Röntgenbildern mit Sicherheit zwar nicht zu erkennen.

2. Beim Anheben der Last war die gesamte Muskulatur des Körpers maximal angespannt. Bei der angegebenen Haltung mit vorgeneigtem Kopf und hochgehobener, nach vorne genommener Schulter, wie sie für schweres Heben und Hochstemmen mit der Schulter charakteristisch ist und die durch Anspannung aller am Schultergürtel ansetzender Muskulatur fixiert ist, wird eine extreme Zugwirkung einzelner Muskelgruppen auf das Schlüsselbein wirksam. Dadurch ist in Verbindung mit der Materialzerrüttung die gleiche Situation gegeben, wie sie ASAL bei der Entstehung einer schleichenden Fraktur für charakteristisch hält, die dann schließlich zum Materialerschöpfungsbruch führt.

Um den Druckpunkt der Hebestange auf dem Schlüsselbein, die nun als Hypomochlion wirkt, gruppieren sich medial und lateral Muskelgruppen, die den Knochen wie Zügel zur Biegung bringen.

Medial vom Hypomochlion wirken *m. sternocleidomastoideus* und *m. pectoralis maj.* mit einer durch die vorgebeugte Haltung gegebenen Zugrichtung nach vorne.

Auf der lateralen Seite ziehen *m. deltoideus* und *m. trapezius* als unmittelbar am Schlüsselbein ansetzend und *m. serratus* mit *m. trapezius* und *m. levator scapulae* als am Schulterblatt ansetzend und so mittelbar auf das Schlüsselbein wirkend, die Schulter nach vorne oben.

Bei diesem gleichzeitig wirkenden Zug und Druck wird der Biegedruck über der Hebestange als Hypomochlion, das zugleich an der schwächsten Stelle des Knochens wirksam ist, so stark, daß der Knochen infrakturiert, besonders dann, wenn eine Materialzerrüttung des Knochens besteht.

Auch für einen 2. von uns beobachteten Fall muß die schleichende Spontanfraktur in Erwägung gezogen werden.

Auch bei diesem Patienten mußte unter starker Muskelanspannung allerdings nur eines Armes ein Hebel an einem Dampfhammer bedient werden. Das Fallen des Dampfhammers wird durch Niederdrücken eines langen Hebels ausgelöst, wobei der Arm nach unten mehr oder weniger gestreckt gehalten ist. Nach Auftreffen des Hammers auf das Werkstück wird aber der Hebel ein kurzes Stück kräftig nach oben zurückgeworfen. Ist der bedienende Arbeiter nun klein, wie in unserem Falle, und stützt er sich mit gestrecktem und in den Gelenken fixiertem Arm auf den Hebel, so daß also kein Spielraum für das Zurückschnellen des Hebels bleibt, so wird über den fixierten Arm und Schultergürtel der Rückprall auf das Schlüsselbein übertragen. Dieses wird dadurch mit dem gleichen Mechanismus belastet wie bei einem Sturz auf die ausgestreckte Hand.

Da aber der Dampfhammer während der ganzen Arbeitszeit in rascher Folge betätigt wird, ergibt sich auch hier eine dauernde, gleichförmige Überlastung und Materialzerrüttung des Knochens im Sinne von HENTSCHEN und KÜNTSCHER. Dabei kommt es dann endlich zu einem Biegebruch an der Stelle, wo der fortgeleitete, immer wiederholte Rückstoß den Knochen zermürbt.

Das Röntgenbild zeigt eine Infraktion des Schlüsselbeins im medialen und cranialen Anteil des Knochens.



**Lit.:**

C. Garré, R. Stich, K.H. Bauer: Lehrbuch der Chirurgie  
Springer Verlag 1949

H. Hellner, R. Nissen, K. Voßschulte: Lehrbuch der Chirurgie  
Thieme Verlag 1957

M. Kirschner, O. Nordmann: Die Chirurgie 2. Auflage.  
Urban und Schwarzenberg, Berlin-Wien 1939

H.J. Köhler: Schleichende Spontanfrakturen und renale Osteopathie  
Langenbecks Arch. u. Dtsch.Z.Chir. Bd. 281, 192-206 (1955)

E. Looser: Zbl.Chir. 7, 1470 (1920)

C. Henschen: Arch.klin.Chir. 157, 193 (1929)  
177, 91 (1933)  
186, 98 (1936)

G.Küntscher: Überlastungsschäden am Knochensystem  
Med.Klinik 1939, 973

## V. DAS KLINISCHE BILD DES SCHLÜSSELBEINBRUCHS.

Das klinische Bild der jeweiligen Fraktur und ihre Symptomatik wird weitgehend durch die Muskelzugwirkung bzw. Bandverbindung bestimmt.

Der Bruch im mittleren Drittel weist durch die gegensätzliche Muskelzugwirkung des m. sternocleidomastoideus und der Brust-Oberarmmuskulatur eine typische Dislokation mit Winkelstellung und Verkürzung auf.

Das mediale Bruchstück wird durch den m. sternocleidomastoideus nach dorsal cranial und lateral gehoben, während das laterale durch die Schwere des Armes, den Zug der Brustschulterblatt- und Brustoberarmmuskeln nach ventral und caudal medial sinkt.

Auch die übrige Symptomatik ist ausgeprägt. Die verletzte Schulter ist schmaler und steht tiefer. Der Kopf ist zur kranken Seite geneigt und der abgewinkelte Arm wird am Ellbogen unterstützt. Der Stauungsschmerz ist auch bei Fissuren deutlich.

Nebenverletzungen sind bei geschlossenen Brüchen selten. Verkantete Splitter können auf den Nervenplexus drücken und so Gefühlsstörungen und Lähmungen verursachen oder die Pleurakuppe und Lungenspitze verletzen.

Die Frakturen im lateralen Drittel sind in ihrer Stellung weitgehend von ihrer Bandverbindung abhängig. Liegt der Bruch zwischen der Ansatzstelle des Lig. coraco-claviculare und dem Acromialgelenk, so wird das laterale Fragment nach unten und das mediale nach oben verschoben. Brüche im Ansatzbereich der Bänder erfahren keine Verschiebung.

Tritt der Bruch außen von den Bändern auf oder sind die Bänder zerrissen, dann folgt das Fragment dem Trapeziuszug nach oben.

Frakturen im sternalen Drittel durch direkte Gewalt oder Zug des *m. sternocleidomastoideus* bleiben ohne wesentliche Dislokation, wenn sie im Bereich des *lig. costoclaviculare* liegen. Frakturen lateral vom *lig. costoclaviculare* führen durch den Zug der *pars clavicularis* des *m. pectoralis maj.* zu einer Verschiebung nach unten.

## VI. Zur BEHANDLUNG DES SCHLÜSSELBEINBRUCHS

sind viele Verfahren angegeben worden. Doch sind bei der Einrichtung des Bruches folgende Punkte zu berücksichtigen:

1. Heben der Schulter und damit des lateralen Fragmentes nach hinten oben in jene Lage, in die das mediale Fragment zeigt.
2. Ausgleich der Verkürzung ist nur durch Längszug an der Schulter nach außen zu erreichen und nicht nur nach hinten oben. Es besteht nämlich eine Gegenwirkung zwischen *m. pectoralis maj.* und *min.* sowie *subclavius* und *trapezius*, *levator scapulae*, *rhomboidei* und *serratus*.

Die Einrichtung des Bruches ist leicht:

Der Operateur legt eine Faust in die Achselhöhle ein und drückt mit der anderen Hand den Ellbogen gegen den Körper, sodaß die Schulter herausgezogen und gehoben wird. Oder aber er stemmt hinter dem Verletzten stehend ein Knie zwischen dessen Schulterblätter und drückt beide Schultern umfassend diese nach hinten oben.

Die Fixation aber der so erreichten Stellung ist schwer. So wurden dazu viele Verfahren angegeben.

Die eine Gruppe der Therapeuten verzichtet bewußt auf die reponierende Einrichtung und Ruhigstellung wegen des ohne größere Hilfsmittel doch nicht zu erreichenden anatomisch idealen Ergebnisses und wegen der großen Gefahr der Schulterversteifung bei älteren Menschen. Sie legt von vorne herein das Gewicht auf die funktionelle Behandlung und Übung des Bewegungsapparates.

Der anderen Gruppe liegt viel an der Erhaltung der Reposition, wie sie bei der Brucheinrichtung erreicht wird. Es wird also der Arm in adduzierter Stellung am Körper fixiert, wobei durch ein Kissen in der Achselhöhle gleichzeitig die Schulter nach oben und außen gehoben wird. Es sind dies die Verbandstechniken nach DESAULD, VESPEAU und der Heftpflasterverband nach SAYRE. Es droht aber hier Versteifung des Schultergelenks, besonders alter Patienten, weshalb diese Techniken jenseits der 40 Jahre nicht angewendet werden.

Um von vornherein der Gefahr der Armversteifung zu begegnen und doch dabei ein gutes anatomisches Ergebnis zu erhalten, entwickelte BÖHLER eine durch Schultergurte regulierbare Brust-Achselschiene. Sie hat den großen Vorzug, Arm und Schultergelenk zur Übung frei zu lassen.

Andere Verfahren, wie der Dauerzug am elevierten Arm, sind heute verlassen. Auch die operative Behandlung durch Drahtumschlingung, Knochenspannschienung, perkutane Einbohrung mit Kirschnerdraht und Marknagelung werden nur bei besonderer Indikation angewendet. Sie ist bei erheblicher Verschiebung der Fragmente gegeben und wenn Plexusschäden bestehen, die erwiesenermaßen durch Fragmentsplitter hervorgerufen werden.

Die einfache Methode des Rucksackverbandes genügt vielfach, um ein anatomisch und funktionelles gutes Ergebnis zu erzielen. Auch in unserem beschriebenen Beobachtungsfalle wurde er angewendet. Nach 4 Wochen war ein anatomisch und funktionell einwandfreies Heilungsergebnis erreicht.

Lit.

L. Böhler: Die Technik der Knochenbruchbehandlung  
Maudrich, Wien 1951

H. Matti: Die Knochenbrüche und ihre Behandlung  
Springer Verlag 1931

W. Gaertner: Ergebnisse operativer und konservativer Schlüsselbeinbruchbehandlung  
Zbl. Chir. 80, 348 (1955)

## ZUSAMMENFASSUNG

Im allgemeinen Teil der Abhandlung über den Schlüsselbeinbruch wird ausgehend von der Entwicklungsgeschichte und vergleichenden Anatomie der Wirbeltiere zunächst die besondere Stellung des Schlüsselbeins aufgezeigt. Dann wird auf die spezielle Anatomie und Topographie des Schlüsselbeins und seiner Gelenke im Zusammenhang mit dem geschlossenen System des Schultergürtels und seiner vielfältigen Funktionsmechanismen eingegangen. Diese haben eine besondere Bedeutung für den Schlüsselbeinbruch und seinen Unfallmechanismus.

Im speziellen Teil werden 2 eigene Beobachtungen von Schlüsselbeinbrüchen besprochen, wobei nach Art der Belastung, die zum Bruch führte, die vorangehende Schädigung des Knochens durch schleichende Fraktur erwogen wird.

## L E B E N S L A U F

Meine Eltern wohnten bis zum 3. Reich in Liegnitz bei Breslau. Ich bin am 23. Juni 1907 in Siedlec geboren. Vor dem 1. Weltkrieg brachten mich meine Großeltern nach dem Ausland, wo ich mein Studium im Jahre 1930 beendete und 1933 promovierte.

Bis 1939 arbeitete ich an der Universitätsklinik als Chirurg.

Im Jahre 1940 eröffnete ich in meiner Heimat - Siedlec eine Arztpraxis.

Von 1941 bis 1944 war ich im Zwangsarbeitslager Drohobicz, verlor meine Familie (Frau mit 2 Kindern) und mein Vermögen.

Seit 1946 bin ich in Bayern und arbeitete bei der IRO als Chirurg bis 1952.

Ende 1954 bekam ich die deutsche Bestallung als Arzt und übe nun seit Februar 1955 eine Kassenpraxis als praktischer Arzt aus.







